

**VŠB - Technická univerzita
Ostrava
Fakulta elektrotechniky a
informatiky**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011

Jakub Latocha

**VŠB - Technická univerzita
Ostrava
Fakulta elektrotechniky a
informatiky
Katedra elektroniky**

**Modernizace laboratorních úloh z předmětu
Principy zařízení komerční elektroniky.**

**Modernisation of Labs from the Course
Principles of Commercial Electronics
Equipments.**

2011

Jakub Latocha

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Latocha**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika
Téma: Modernizace laboratorních úloh z předmětu Principy zařízení komerční elektroniky.
Modernisation of Labs from the Course Principles of Commercial Electronics Equipments.

Zásady pro vypracování:

1. Na základě pokynů vedoucího bakalářské práce navrhnete vybrané laboratorní úlohy z předmětu Principy zařízení komerční elektroniky.
2. Vybrané úlohy realizujete a vypracujete metodické postupy pro měření.
3. Z realizovaných měření vypracujete vzorové protokoly.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího závěrečné práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Sládeček, Ph.D.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Datum odevzdání: 5.5.2011

.....

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je vytvořit dvě úlohy do měření z předmětu principy zařízení komerční elektroniky. Témata těchto úloh jsou DC/DC měniče a elektronické filtry. Přesněji Beztransformátorový stejnosměrný zvyšující měnič napětí a pásmová propust s mezním kmitočtem 100kHz. Ke každé úloze je sepsán základní teoretický přehled s rozdělením, navržen a realizován přípravek, na kterém je provedeno měření. Pro tato měření jsou vypracovány návody k měření a vzorové protokoly. Na konci bakalářské práce jsou fotografie přípravků.

Klíčová slova: Měnič napětí, Pásmová propust, měření

Abstract

The aim of this bachelor's thesis is to create two labs from the course principles of commercial electronics equipments. Topics of these labs are DC/DC converters and electronic filters. More rising Transformerless step up DC/DC converter and band-pass filter with a cutoff frequency of 100 kHz. For each task is written in a basic overview of the theoretical division, designed and implemented the product, on which is done measure. For these measurements are developed tutorials to measure and model protocols. At the end of the thesis are photographs of products.

Key words: Voltage converter, Band pass filter, measure

Seznam použitých symbolů a zkratk

Použité zkratky

| | |
|-----|-------------------------|
| AC | Střídavé napětí |
| DC | Stejnoseměrné napětí |
| DPS | Deska plošného spoje |
| GND | uzemnění |
| OZ | Operační zesilovač |
| PP | Pásmová propust |
| PWM | Pulsně šířková modulace |
| PZ | Pásmová zádrž |
| SI | Syntetická indukčnost |
| SS | Stejnoseměrný |
| Vf | Vysokofrekvenční |

Použité symboly

| | |
|-----------------|---|
| A_u | Zesílení [dB] |
| C_v | Hodnota vazebního kondenzátoru [F] |
| F_0 | Mezní kmitočet filtru [Hz] |
| f_m | Mezní frekvence odrušovacího filtru [Hz] |
| L_{EKV} | Ekvivalentní indukčnost SI [H] |
| l_i, c_i | koeficienty butterworthovy aproximace |
| P_1 | Výkon [W] |
| P_2 | Příkon [W] |
| Q | Činitel jakosti |
| Q_L | Činitel jakosti cívky |
| R_z | Zatěžovací odpor [Ω] |
| t_0 | Časový posun [s] |
| α | Koeficient ovlivňující činitel jakosti SI |
| φ° | Fázový posun [$^\circ$] |
| ω_0 | Mezní úhlová frekvence [rad/s] |

Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1. Úvod..... | 7 |
| 2. Kmitočtové filtry | 8 |
| 2.1 Obecný popis | 8 |
| 2.1.1 Základní typy filtrů a způsoby realizace | 8 |
| 2.1.2 Základní typy aproximací a jejich vlastnosti | 9 |
| 2.1.3 Pásmové filtry s vázanými rezonátory | 10 |
| 2.1.4 Syntetický induktor..... | 11 |
| 2.2 Popis návrhu filtru s kapacitně vázanými rezonátory | 12 |
| 2.2.1 Návrh filtru s kapacitně vázanými rezonátory | 14 |
| 2.2.2 Návrh syntetických indukčností | 17 |
| 2.2.3 Realizace přípravku pro měření | 19 |
| 3. Měníče napětí | 21 |
| 3.1 Obecný popis měničů | 21 |
| 3.1.1 Vymezení pojmů a základních požadavků | 21 |
| 3.1.2 Pracovní kvadranty | 22 |
| 3.1.3 Rozdělení měničů | 23 |
| 3.1.4 Zvyšující neinvertující měnič (step-up) | 25 |
| 3.2 Návrh a popis vlastností přípravků pro měření DC/DC měniče | 26 |
| 3.2.1 Návrh a popis odrušovacího filtr | 27 |
| 4. Závěr | 28 |
| 5. Seznam příloh..... | 30 |
| 6. Přílohy | 31 |

1. Úvod

V této bakalářské práci je popsán návrh dvou měřících úloh z předmětu principy zařízení komerční elektroniky. Úlohy se zaměřují na témata frekvenčních filtrů a měničů napětí. Před samotným návrhem přípravků, na kterých budou měření prováděna, jsou popsány teoretické principy, ze kterých vychází návrhy těchto obvodů. Nejprve je řešena problematika frekvenčních filtrů, přesněji základní princip, jejich dělení a způsoby realizací. Vlastní realizace je popsána nejdříve teoreticky krok po kroku a až poté následují výpočty, simulace a návrh přípravku v programu Eagle. Dále je řešeno téma měničů napětí. V této části bakalářské práce je vysvětlen základní funkční princip měničů a jejich dělení. Po obecném uvedení do problematiky je popisován již konkrétní typ měničů a to zvyšující stejnosměrné měniče napětí. K závěru teoretické části bakalářské práce je popsána realizace přípravku a výčet jeho základních vlastností. V části příloh jsou vypracovány postupy měření těchto dvou úloh spolu se vzorovými protokoly. Na konci části příloh jsou přiloženy fotografie zhotovených přípravků.

2. Kmitočtové filtry

2.1 Obecný popis

Kmitočtové filtry jsou lineární obvody, které se používají v mnoha oblastech elektrotechniky a elektroniky. Hlavní úkol těchto obvodů je výběr kmitočtových složek signálu. Filtry určité kmitočtové složky signálu propouštějí (oblast propustného pásma), jiné naopak potlačují (oblast útlumu neboli nepropustného pásma). Tyto vlastnosti můžeme vyjádřit modulovou (amplitudovou) kmitočtovou charakteristikou (závislost napěťového přenosu obvodu na kmitočtu).

Ideální charakteristika kmitočtového filtru má obdélníkový tvar, nulový útlum propustném pásmu a nekonečně velký útlum v pásmu nepropustném. K tomuto stavu se snažíme přiblížit, protože nedokonalost (nízké Q cívek a kondenzátorů) a parazitní vlastnosti reálných součástek (mezizávitová kapacita cívek, svody kondenzátorů) nám nedovolí tento zmíněný ideální filtr realizovat.

2.1.1 Základní typy filtrů a způsoby realizace

Realizaci kmitočtových filtrů lze provést více způsoby. Způsob realizace do jisté míry určuje některé podstatné provozní vlastnosti filtru. Realizace filtru lze rozdělit do tří hlavních skupin.

1. Realizaci pomocí diskretních prvků (odpory, kondenzátory, cívky, operační zesilovače apod.) lze sestavit filtr přesně podle požadavků uživatele.
2. Realizaci pomocí integrovaného bloku, která je obvykle menší, levnější, propracovanější, jelikož je výrobce vyrábí ve velkých sériích vhodnou technologií. Obvody nelze moc přizpůsobit a je nutné dodržovat zapojení podle výrobce.
3. Realizace pomocí číslicových filtrů spočívá v digitálním zpracování signálu a jeho matematických úpravách. Omezení aplikace těchto filtrů může být maximální rychlost výpočtu počítače a vzorkování tím je omezeno použitelné kmitočtové pásmo filtru.

Rozdělení filtrů podle stavebních prvků

1. **Filtr RC** – Tyto obvody vynikají svou jednoduchostí, dostupností a nízkou cenou součástek. Prakticky lze využít jen jednoduché filtry prvního a druhého řádu s nízkým činitelem jakosti.
2. **Filtry RLC** – Lze realizovat libovolný typ filtru. Omezení vyplývá především z použití cívek. Ty jsou pro nízké kmitočty rozměrné, drahé a ztrátové. Obvykle jsou použity v kmitočtovém rozsahu od 100kHz do 300MHz. Pro kmitočty nad 300MHz se výrazně projevují parazitní vlastnosti prvků. Obvody typu PP a PZ s velmi malou relativní šířkou pásma jsou náročnější na realizaci z důvodu citlivosti na tolerance hodnot použitých diskretních součástek.
3. **Filtry ARC** – Označované také jako aktivní filtry RC. Cívky jsou v těchto obvodech nahrazeny rezistory, kondenzátory a aktivními prvky, nejčastěji operačními zesilovači. Mají obdobné vlastnosti jako filtry RLC, ale vzhledem k vlastnostem aktivních prvků se jejich použití omezuje na kmitočtové pásmo 0,1 Hz až 100 kHz. Současný pokrok v technologii aktivních prvků však umožňuje využití těchto filtrů na stále vyšších kmitočtech (dnes již

řádově jednotky až desítky MHz). Kmitočtově jsou vhodným doplňkem k filtrům RLC. Oproti nim mají výhodu ve snazší nastavitelnosti a laditelnosti změnou hodnot odporů. Jejich nevýhodou je potřeba napájení aktivních prvků.

4. **Filtry ASC**-Známé také jako filtry se spínanými kapacitami. Jsou speciální modifikací filtrů ARC, které místo odporů používají přepínané kondenzátory. Jejich hlavní výhodou je snadná monolitická integrace v porovnání s filtry ARC. Jejich mezní kmitočet je určen spínacím kmitočtem a jsou tedy velice snadno přeladitelné.
5. **Elektromechanické filtry**-Jsou historicky nejstarší integrované filtry. Vychází z principu převodu elektrického signálu na mechanický, využití některé formy mechanické rezonance a zpětného převodu výsledného mechanického signálu na elektrický. Chovají se tedy vesměs jako pásmové propusti. Podle typu mechanického rezonátoru je lze dělit na různé skupiny. Dnes jsou používány nejčastěji piezokeramické filtry. Zvláštní typem je krystalový filtr, který odpovídá v podstatě složenému rezonančnímu obvodu s vysokým činitelem jakosti a vysokou stabilitou rezonančního kmitočtu. Nejčastěji se využívá ve stabilních oscilátorech. Vzhledem k vysokému a nenastavitelnému činiteli jakosti a nenastavitelnému rezonančnímu kmitočtu se krystaly jako filtry používají velice zřídka. Zapojením většího počtu krystalů s velmi přesným výběrem lze realizovat úzký pásmový filtr pro speciální aplikace jako např. úzkopásmové mezifrekvenční filtry s vysokým rezonančním kmitočtem.

2.1.2 Základní typy aproximací a jejich vlastnosti

Butterworthova aproximace patří mezi nepoužívanější, protože je obvykle přijatelným kompromisem mezi požadovanou linearitou fázové charakteristiky a dosažitelným útlumem modulové kmitočtové charakteristiky při nízkém řádu filtru. Při obvykle požadovaném zvlnění 3 dB v propustném pásmu lze nalézt potřebný řád filtru přímo z modulových charakteristik na obr. 5.

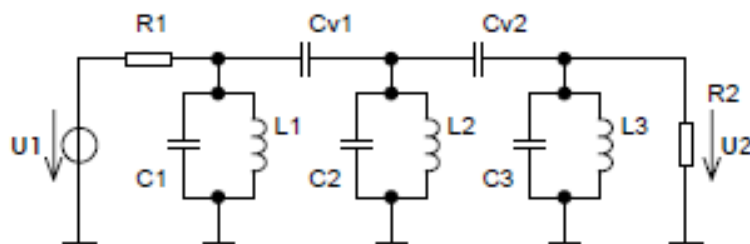
Besselova (Thompsonova) aproximace je často požívaná z důvodu téměř konstantního skupinového zpoždění v propustném pásmu a kvůli vlastnostem přechodové charakteristiky, která je téměř bez Překmitů. Tyto vlastnosti předurčují Besselovu charakteristiku především pro případy, kde záleží na zachování tvaru průchozího signálu. Výhodné je použití Besselovy aproximace pro filtraci frekvenčně a fázově modulovaných signálů. Nevýhodou této aproximace je malá strmost modulové charakteristiky.

Čebyševova aproximace dosahuje nejstrmější charakteristiky v přechodném pásmu s velkým potlačením přenosu v nepropustném pásmu (je možno použít nižší řád filtru se stejným výsledkem jako u jiných aproximací). Nevýhodou Čebyševovy aproximace je větší nelinearita fázové charakteristiky a větší nekonstantnost skupinového zpoždění, než u předchozích aproximací.

2.1.3 Pásmové filtry s vázanými rezonátory

Základními prvky filtrů s vázanými rezonátory jsou paralelní (případně sériové) rezonanční obvody, tyto obvody jsou na sebe vhodně navázány. Paralelní rezonanční obvod vykazuje při stavu rezonance (stav, kdy se velikosti kapacitní a induktivní reaktance velikostně rovnají) velkou impedanci. Strmost poklesu rezonančních křivek paralelního rezonančního obvodu a tím i selektivita obvodu (schopnost potlačit nežádoucí signály a propustit signály žádané) je určena činitelem jakosti Q paralelního rezonančního obvodu, který se rovná podílu rezonančního odporu a induktivní nebo kapacitní reaktance obvodu při rezonanci.

Vazbu mezi obvody lze rozdělit na induktivní a kapacitní. Induktivní vazba lépe potlačuje vyšší kmitočty, naopak kapacitní vazba lépe potlačuje nízké kmitočty. Z hlediska realizace je vhodnější použití kapacitních vazeb, protože se redukuje počet cívek v obvodu, což návrh zjednoduší a sníží náklady na realizaci.

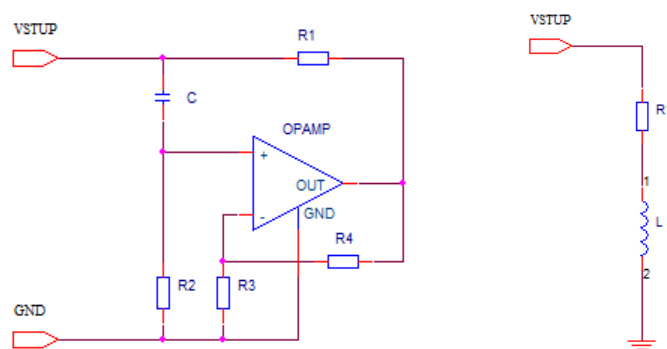


Obrázek 1. Příklad obvodu s kapacitně vázanými rezonátory

2.1.4 Syntetický induktor

Princip spočívá v přímé simulaci cívek ekvivalentním složitějším obvodem – dvojpólem, který obsahuje aktivní prvky (Operační zesilovače), rezistory a kondenzátory. Tento dvojpól na vstupních svorkách vykazuje induktivní reaktanci (funguje např. jako syntetický induktor). Hodnota ekvivalentní indukčnosti induktoru (obr. 2) je určena podle vzorce 2.8. Takto lze simulovat i značně velká hodnota indukčnosti. Modifikované zapojení Prescottova syntetického induktoru s vyšším činitelem jakosti Q_L je patrné na obr. 4. Praktické realizace lze rozdělit podle dvou hledisek.

1. Podle ztrátovosti a vztahu nespolečného (zemního) uzlu (do čtyř skupin). Jednodušší obvody (obvykle s jedním OZ) realizují ztrátové uzemněné syntetické induktory.
2. Složitější obvody (obvykle se dvěma OZ) umožňují realizovat teoreticky ideální bezztrátové uzemněné syntetické induktory. Obtížnější je realizace neuzemněných induktorů, ta totiž vyžaduje zdvojení předchozích obvodů.



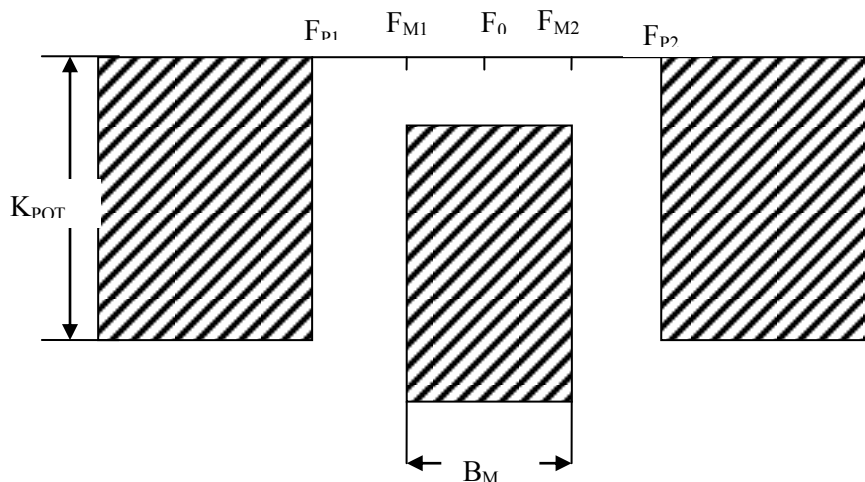
Obrázek 2. Ztrátový uzemněný syntetický induktor a jeho náhradní schéma

$$L = C \cdot R_1 \cdot R_2 \quad (2.1)$$

2.2 Popis návrhu filtru s kapacitně vázanými rezonátory

Postup návrhu filtru byl převzat z [2] a upraven.

1. Zvolíme střední frekvenci filtru F_0 , zjistíme šířku pásma B_M , kmitočty potlačení přenosu F_{p1} a F_{p2} , mezní kmitočty F_{M1} a F_{M2} (kmitočty poklesu o 3dB).



Obrázek 3. Toleranční pole PP

$$B_M = F_{M2} - F_{M1} \quad (2.2)$$

2. Zvolíme impedanci, na kterou budeme filtr navrhovat. Nejlépe tak aby impedance vstupní a výstupní byly stejné jako impedance zdroje a zátěže.
3. Zvolíme typ aproximace a řád filtru (čím vyšší řád filtru, tím strmější charakteristika a užší pásmo propustnosti).
4. Vyhledáme potřebné koeficienty pro zvolenou aproximaci a řád filtru, v tabulce uvedené jako prvky l_i a c_i (i značí číslo prvku).
5. Provedeme výpočty (podle vztahů 2.2, 2.3, 2.4), u výpočtu podle vztahu (2.4) dosazujeme $m=1$ pro vnitřní a $m=2$ pro krajní rezonanční obvody.

$$C_v = \frac{1}{2\pi F_0 R} \quad (2.3)$$

$$L_i = \frac{B_M R}{2\pi F_0^2 a_i} \quad (2.4)$$

$$C_i = \frac{1}{4\pi^2 F_0^2 L_i} - m C_v \quad (2.5)$$

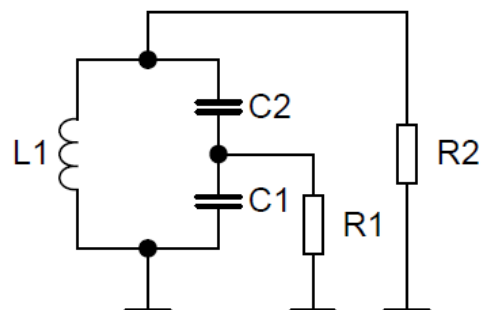
6. Pokud vypočítané hodnoty součástek z praktického hlediska vyhovují, přistoupíme k bodu 7.
7. V případě, že vypočtené hodnoty nebudou technologicky vhodné, změníme impedanci filtru a opakujeme výpočet tak dlouho, až dosáhneme použitelných hodnot součástek.

7. Nakonec provedeme impedanční přizpůsobení filtru na požadované vstupní a výstupní impedance. Přizpůsobení provedeme tím, že výstupní (okrajové) kondenzátory nahradíme kapacitním děličem složeným ze dvou kondenzátoru.

$$C_1 = C \sqrt{\frac{R_2}{R_1}} \quad (2.6)$$

$$C_2 = \frac{C \cdot C_1}{C_1 - C} \quad (2.7)$$

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (2.8)$$



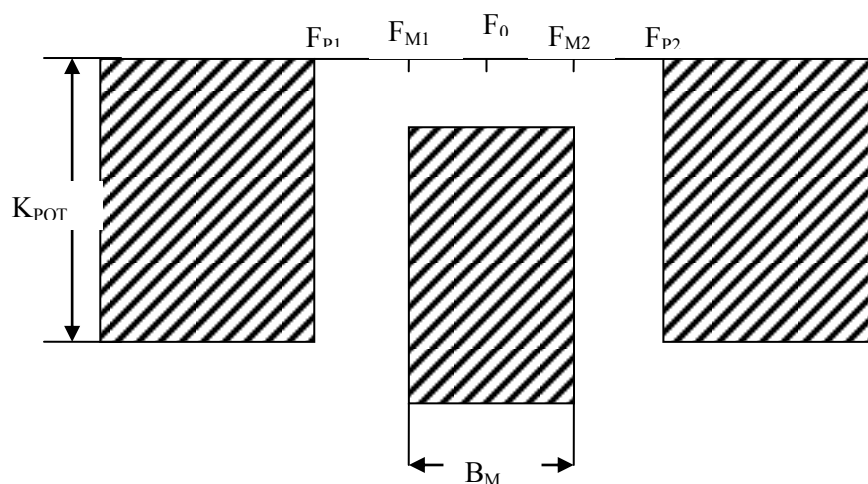
Obrázek 4. Schéma impedančního přizpůsobení

2.2.1 Návrh filtru s kapacitně vázanými rezonátory

Návrh pásmové propusti s Butterworthovou aproximací a těmito parametry:

1. Stanovení hodnot filtru

$F_0=100\text{kHz}$, $F_{p1}=95\text{kHz}$, $F_{p2}=105\text{kHz}$, $B_M=2\text{kHz}$, $K_{pot}=40\text{dB}$, $Z_{in}=Z_{out}=50\Omega$

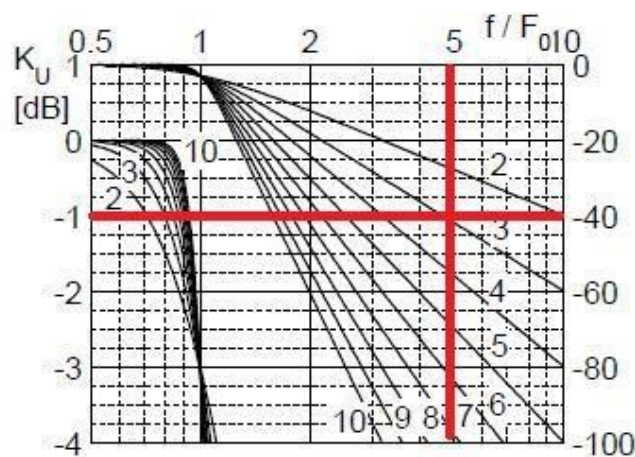


2. Stanovení impedance filtru

Impedance byla stanovena podle výstupní impedance frekvenčního generátoru na $Z_{in}=50\Omega$.

3. Určení řádu filtru z frekvenční modulové charakteristiky pro butterworthovu aproximaci

$$F_{PN} = \frac{|F_0^2 - F_{p2}^2|}{F_{p2} \cdot B_M} = 4,8809 \quad (2.9)$$

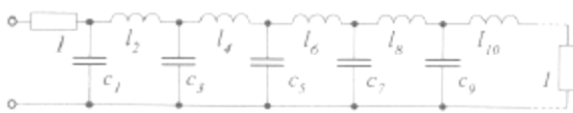


Obrázek 5. Modulova charakteristika

Z obr.5 je zřejmé, že dostačuje 3. řád filtru.

4. Zjištění koeficientů l_i a c_i z tabulky koeficientů Butterworthovy aproximace.

| Butterworth | | | | | | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| n | l_1 | c_2 | l_3 | c_4 | l_5 | c_6 | l_7 | c_8 | l_9 | c_{10} |
| 2 | 1,5547 | 1,5547 | | | | | | | | |
| 3 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | | | | | | | |
| 4 | 0,7654 | 1,8478 | 1,8478 | 0,7654 | | | | | | |
| 5 | 0,6180 | 1,6180 | 2,0000 | 1,6180 | 0,6180 | | | | | |
| 6 | 0,5176 | 1,4142 | 1,9319 | 1,9319 | 1,4142 | 0,5176 | | | | |
| 7 | 0,4450 | 1,2470 | 1,8019 | 2,0000 | 1,8019 | 1,2470 | 0,4450 | | | |
| 8 | 0,3902 | 1,1111 | 1,6629 | 1,9616 | 1,9616 | 1,6629 | 1,1111 | 0,3902 | | |
| 9 | 0,3473 | 1,0000 | 1,5321 | 1,8794 | 2,0000 | 1,8794 | 1,5321 | 1,0000 | 0,3473 | |
| 10 | 0,3129 | 0,9080 | 1,4142 | 1,7820 | 1,9754 | 1,9754 | 1,7820 | 1,4142 | 0,9080 | 0,3129 |
| | c_1 | l_2 | c_3 | l_4 | c_5 | l_6 | c_7 | l_8 | c_9 | l_{10} |



Obrázek 6. Tabulka koeficientů pro butterworthovu aproximaci

Koeficienty l_1, c_2, l_3 můžeme považovat za koeficienty a_1, a_2, a_3 . $\rightarrow a_1=1, a_2=2, a_3=1$

5. Provedení výpočtu hodnot pasivních prvků

$$C_v = \frac{1}{R \cdot \omega_0} = \frac{1}{R \cdot 2\pi F_0} = 3,18 \cdot 10^{-8} F \quad (2.10)$$

$$L_1 = \frac{B_M \cdot R}{2\pi F_0^2 \cdot a_1} = 1,591 \cdot 10^{-6} H \quad (2.11)$$

$$L_2 = \frac{B_M \cdot R}{2\pi F_0^2 \cdot a_2} = 7,957 \cdot 10^{-7} H \quad (2.12)$$

$$L_3 = \frac{B_M \cdot R}{2\pi F_0^2 \cdot a_3} = 1,591 \cdot 10^{-6} H \quad (2.13)$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot F_0^2 \cdot L_1} - C_v = 1,592 \cdot 10^{-6} - C_v = 1,5602 \cdot 10^{-6} F \quad (2.14)$$

$$C_2 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot F_0^2 \cdot L_2} - 2C_v = 3,119 \cdot 10^{-6} F \quad (2.15)$$

$$C_3 = C_1 \quad (2.16)$$

Přepočet pro impedanci $Z=600\Omega$

$$C_v = \frac{1}{R \cdot \omega_0} = \frac{1}{600 \cdot 2\pi F_0} = 2,652 \cdot 10^{-9} F \quad (2.17)$$

$$L_1 = \frac{B_M \cdot R}{2\pi F_0^2 \cdot a_1} = 1,909 \cdot 10^{-5} H \quad (2.18)$$

$$L_2 = \frac{B_M \cdot R}{2\pi F_0^2 \cdot a_2} = 9,5492 \cdot 10^{-6} H \quad (2.19)$$

$$L_1 = L_3 \quad (2.20)$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot F_0^2 \cdot L_1} - C_v = 1,3 \cdot 10^{-7} F \quad (2.21)$$

$$C_2 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot F_0^2 \cdot L_2} - 2C_v = 2,6 \cdot 10^{-7} F \quad (2.22)$$

$$C_3 = C_1 \quad (2.23)$$

6. V katalogu jsou dostupné indukčnosti o velikostech $L_1=18\mu H$ a $L_2=10\mu H$, proto je nutné provést přepočet hodnot ostatních prvků a parametrů.

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot F_0^2 \cdot L_1} - C_v = 1,38 \cdot 10^{-7} F \quad (2.24)$$

$$C_2 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot F_0^2 \cdot L_2} - 2C_v = 2,48 \cdot 10^{-7} F \quad (2.25)$$

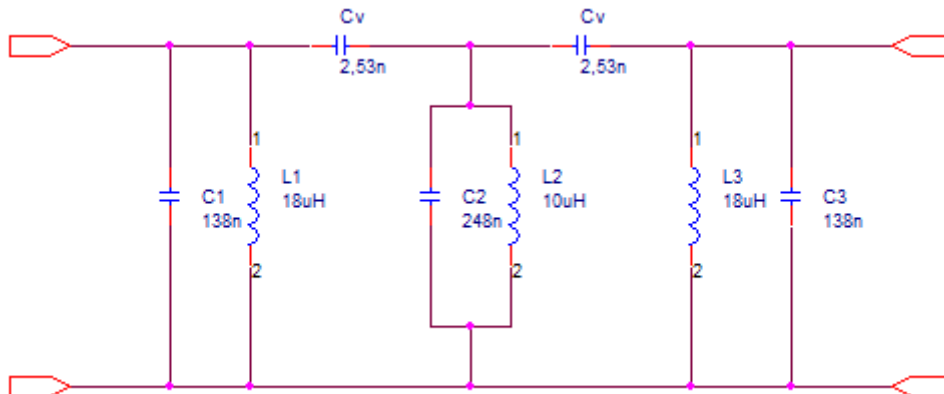
$$C_1 = C_3 \quad (2.26)$$

Výpočet impedance filtru

$$C_v = \frac{1}{R \cdot \omega_0} \rightarrow R = \frac{1}{C_v \cdot \omega_0} = 629 \Omega \quad (2.27)$$

Výpočet šířky pásma filtru

$$L_1 = \frac{B_M \cdot R}{2\pi F_0^2 \cdot a_1} \rightarrow L_1 \cdot 2\pi F_0^2 \cdot a_1 = B_M \cdot R \rightarrow B_M = \frac{L_1 \cdot 2\pi F_0^2 \cdot a_1}{R} = 1798,04 Hz \quad (2.28) \text{ a } (2.29)$$

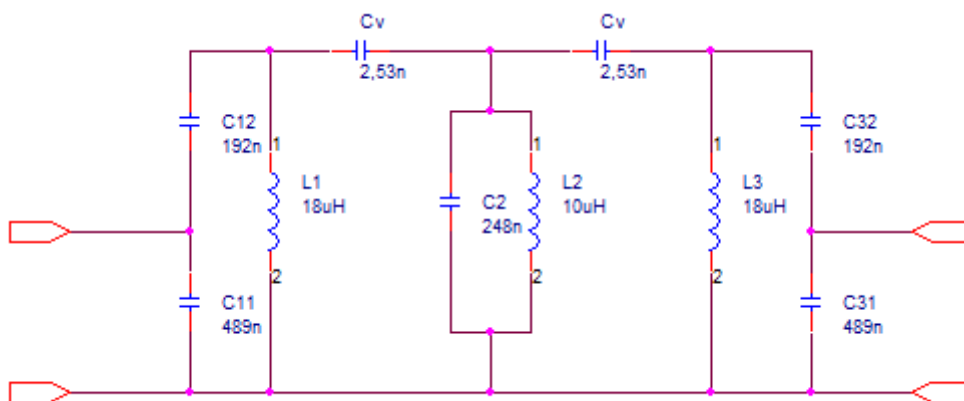


Obrázek 7. Schéma PP s vázanými obvody

7. Impedanční přizpůsobení

$$C_{11} = C_1 \cdot \sqrt{\frac{R}{R_z}} = 4,894 \cdot 10^{-7} F \quad (2.30)$$

$$C_{12} = \frac{C_{11} \cdot C_1}{C_{11} - C_1} = 1,921 \cdot 10^{-7} F \quad (2.31)$$



Obrázek 8. Schéma PP s impedančním přizpůsobením

2.2.2 Návrh syntetických indukčností

V zapojení, na kterém bude probíhat měření jsou použity dvě syntetické indukčnosti, které v obvodovém schématu nahradí cívky L_1 a L_3 . Jedná se o ztrátové uzemněné syntetické indukčnosti SI_1 , SI_3 . Hodnoty jednotlivých prvků byly spočítány dle následujících rovnic.

$$L_{Si} = C_{Si} \cdot R_1 \cdot R_2 \quad (2.32)$$

$$Q_L = 2\pi f \cdot R_2 \cdot C_{Si} \quad (2.33)$$

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_2}{R_1} \quad (2.34)$$

Vstupní údaje: L_{ekv} , R_L (Q_L)

$L_{ekv}=18\mu H$, $R_L=0,81\Omega$

$R_1=R_L$

Výpočet C_S pro bloky SI_1 a SI_3 : Zvolíme $\alpha = 10$ až 100 (čím větší tím vyšší Q). Zvoleno $\alpha=100$

$$C_{S1} = \frac{L_{ekv}}{(\alpha \cdot R_1^2)} = 274,3nF \quad (2.35)$$

Výpočet R_2 v blocích SI_1 a SI_3 :

$$R_2 = \frac{L_{ekv}}{R_1 \cdot C_{S1}} = 12345,67\Omega \quad (2.36)$$

Výpočet R_3 a R_4 v bloku SI_1 a SI_3 :

$$\alpha_R = \frac{R_2}{R_1} = 15241 \quad (2.37)$$

$$R_4 = \frac{3 \cdot 10^3}{\sqrt{\alpha_R}} = 24,3\Omega \quad (2.38)$$

$$R_3 = R_4 \cdot \alpha_R = 370356,3\Omega \quad (2.39)$$

K dosažení přesných hodnot prvků je nutné použití jejich sériové a paralelní kombinace (Paralelní u C a sériové u R).

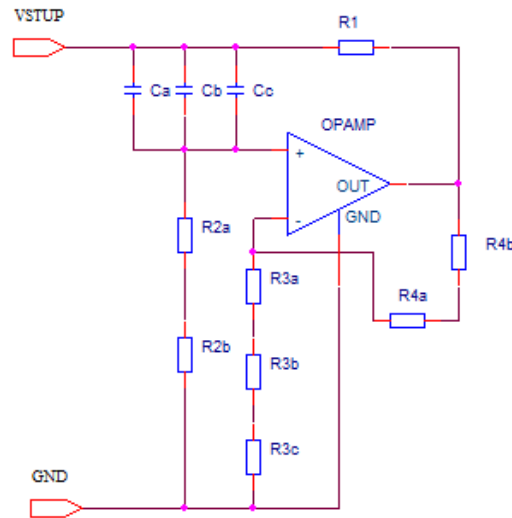
$$R_1 = 1\Omega$$

$$R_2 = R_{2a} + R_{2b} = 12k\Omega + 330\Omega \quad (2.40)$$

$$C = C_a + C_b + C_c = 220nF + 47nF + 6,8nF \quad (2.41)$$

$$R_3 = R_{3a} + R_{3b} + R_{3c} = 330k\Omega + 39k\Omega + 1,2k\Omega \quad (2.42)$$

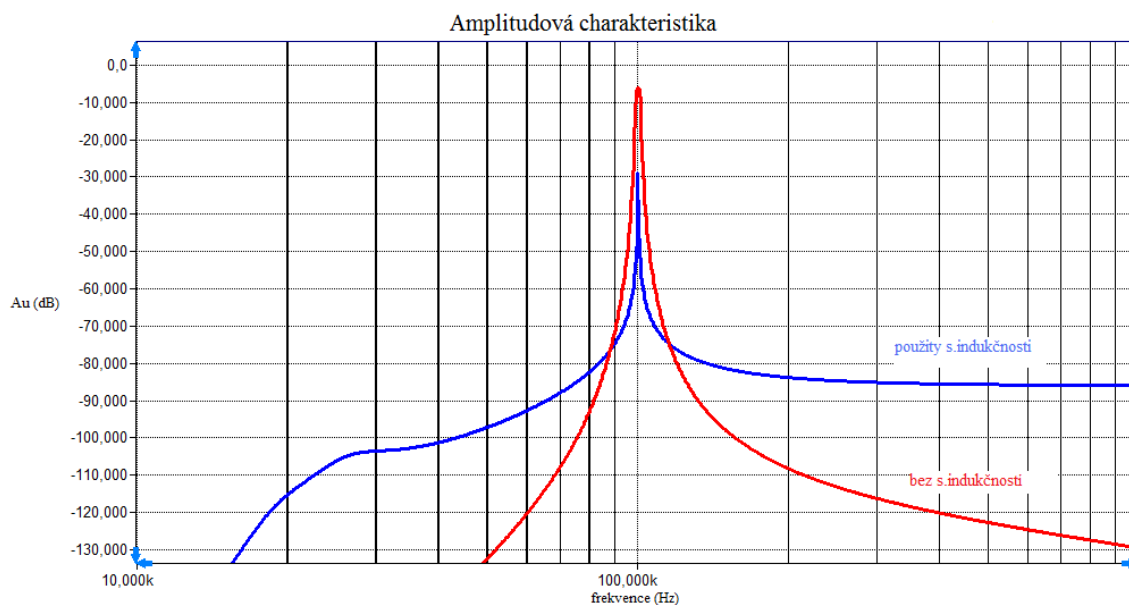
$$R_4 = R_{4a} + R_{4b} = 22\Omega + 2,2\Omega \quad (2.43)$$



Obrázek 9. Realné schéma bloku syntetické indukčnosti SI

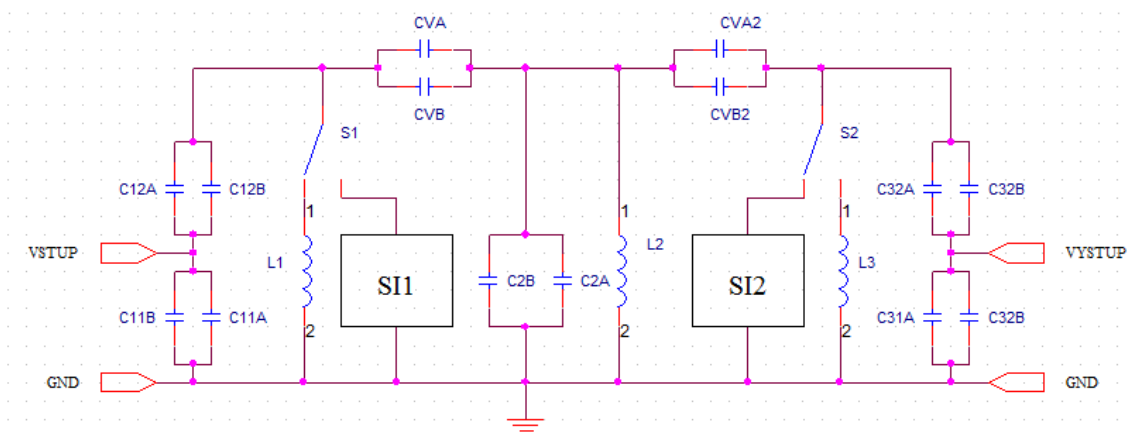
2.2.3 Realizace přípravku pro měření

Pásmová propust navrhnutá v předchozích kapitolách byla simulována v programu B2Spice. Výsledky simulace se mohou od skutečných vlastností lišit to je způsobeno použitím ideálních kapacitorů a induktorů během simulací. Deska plošného spoje byla navrhnutá v programu EAGLE.



Obrázek 10. Výsledek simulace pásmové propusti

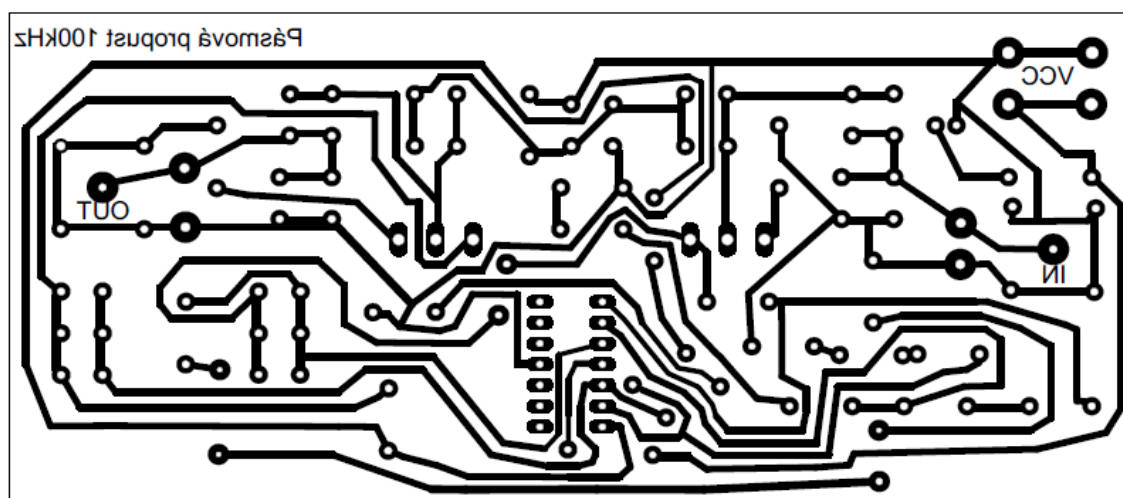
Na obr. 11 je zobrazeno obvodové schéma přípravku. Připojování syntetických indukčností je realizováno pomocí přepínačů S1 a S2. Pro zjednodušení a větší přehlednost jsou syntetické indukčnosti zobrazeny jen jako bloky SI1 a SI2 (obvodové schéma těchto bloků je patrné na obr. 9).



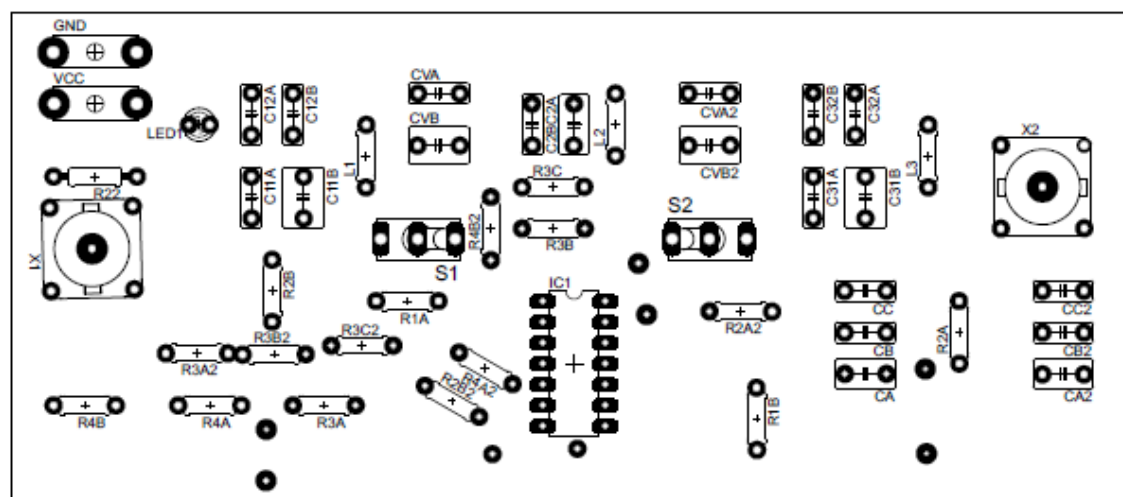
Obrázek 11. Schéma pásmové propusti s bloky SI

Základní vlastnosti:

1. Rezonanční frekvence 100 kHz.
2. Vstupní a výstupní impedance 50Ω
3. Vstup a výstup realizovaný pomocí BNC konektorů (50Ω), alternativně možno připojit pomocí vývodů FASTON.
4. Napájení OZ (10-12V) přes „mini“ banánky firmy hirschman d=2mm.
5. Jako OZ použity obvody LM318 (1násobný OZ s vysokou rychlostí přeběhu „slew rate“).
6. Pro realizaci byli použity cívky s minimálním činitelem jakosti $Q_L=60$ a kondenzátory s tolerancí 5%.



Obrázek 12. DPS pásmové propusti (mirrored)



Obrázek 13. Rozmístění součástek

3. Měníče napětí

3.1 Obecný popis měničů

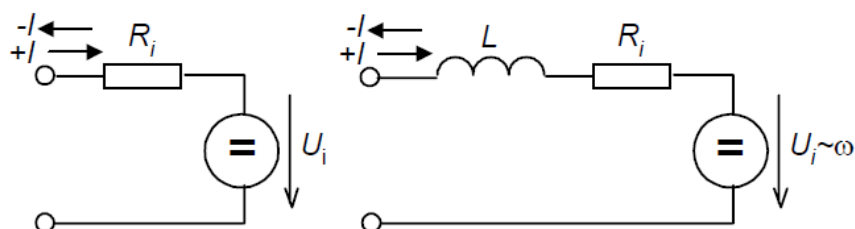
Se zlepšujícími se parametry a klesající cenou výkonových polovodičových součástek roste využití elektronických zdrojů napětí. Ve spotřební elektronice se často setkáme se spínanými zdroji (což je vlastně kombinace usměrňovače a jednoho nebo více DC/DC měničů. V průmyslu se navíc pro rozběhy a regulaci otáček motorů často využívají polovodičové frekvenční měniče (bývají také kvůli zapojení označovány jako střídače, neboť uvnitř se v podstatě jedna o spojenou dvojici usměrňovač-střídač).

Moderní měniče a spínané zdroje nahrazují klasické zdroje především z důvodu podstatně větší účinnosti (klasický zdroj pro 5V má účinnost asi jen 30%, naproti tomu měniče a spínané zdroje mají účinnost kolem 80 až 90%). Dalším z důvodů je ten, že klasické zdroje obsahují velké, těžké a drahé transformátory a také potřebují rozměrově větší chladiče. Moderní elektronické zdroje obsahují velké množství integrovaných součástek tím se výrazně zmenšují rozměry a také cena u složitějších typů zdrojů. Stejnosměrné neboli DC/DC měniče jsou používány ve spínaných zdrojích (napájecí zdroje PC a notebooku), mobilních telefonech, nabíječkách baterií atd. Důležitou roli hrají v bateriových zařízeních, kde by se velká část energie přeměnila na nežádoucí teplo a tím by došlo ke zkrácení životnosti baterie. U moderních síťových zdrojů se používají DC/DC měniče jako aktivní usměrňovače, z důvodu odběru sinusového proudu s účínkem blízkým jedné.

3.1.1 Vymezení pojmů a základních požadavků

DC/DC měniče jsou obvody sloužící k regulaci el. energie, které mění vstupní stejnosměrné napětí U_1 na jiné výstupní stejnosměrné napětí U_2 . Budeme se přitom zabývat měniči tzv. napětěového typu, což jsou měniče napájené konstantním vstupním napětím z napětěového zdroje, nikoliv proudem, z proudového zdroje. Dále se omezíme pouze na měniče bez transformátoru, které tedy neumožňují galvanické oddělení výstupu od vstupu. Každý měnič sestává z vlastního silového obvodu a řídicí elektroniky (regulačních obvodů). Zajímají nás jen takové silové obvody, které jsou z principu bezeztrátové (tj. teoreticky, v ideálním případě, při zanedbání různých parazitních vlastností reálných prvků). Takové silové obvody nesmí využívat při regulaci energie rezistorů. Silové obvody měničů budou proto sestávat jen ze spínačů (tranzistory atd.) a akumulačních prvků, tj. indukčností a kapacit. Pokud je použijeme spolu s klasickým stabilizátorem, vytvoříme napájecí zdroj. Velmi užitečné jsou v případě, že potřebujeme z jednoho zdroje vytvořit více různých napětí. Pro spínání se v měničích používají tranzistory a diody, k zásobení energie při převodu se používají cívky a kondenzátory, pro galvanické oddělení se používají pulzní transformátory. DC/DC měniče mohou přenášet energii z principu oběma směry. Mohou tedy čerpat energii ze zdroje a dodávat ji do zátěže nebo také opačně energii čerpat ze zátěže a dodávat ji do zdroje. Pojmy zátěž a zdroj je proto nutné chápat v širším slova smyslu.

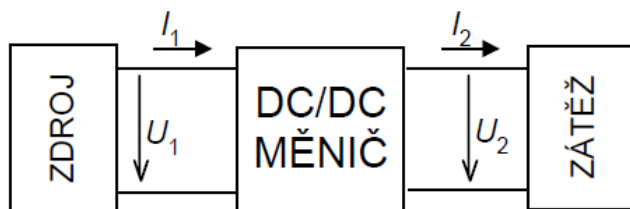
1. Zdrojem s konstantním napětím U_1 , schopným dodávat i akumulovat energii, je akumulátor. Použijeme-li jako zdroj např. usměrňovač se sběrným kondenzátorem, pak není schopen dlouhodobě jímat energii z měniče, tj. dlouhodobě nesmí ve střední hodnotě převládat směr proudu do kladné svorky zdroje (krátkodobě je takový směr možný). Nabíjením sběrného kondenzátoru by totiž rostlo napětí U_1 . Tomu lze zabránit přeměnou dodávané energie na teplo ve vybíjecím rezistoru či na Zenerově diodě, zapojené paralelně ke sběrnému kondenzátoru.
2. Z hlediska schopnosti spotřeby či dodávky energie lze rozlišovat zátěž aktivní a pasivní. Aktivní zátěží je opět např. akumulátor, ale třeba i stejnosměrný motor. Jeho náhradní zapojení, platné v ustáleném stavu, je uvedeno na obr. 14.



Obrázek 14. Vlevo náhradní schéma akumulátoru a vpravo náhradní schéma SS motoru

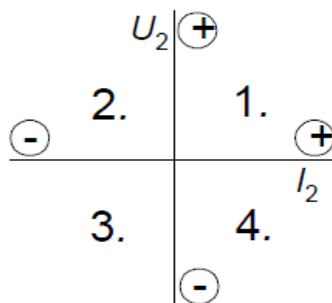
3.1.2 Pracovní kvadranty

Na obrázku 15 je označeno vstupní a výstupní napětí a proud měniče. Měníče mohou pracovat ve čtyřech kvadrantech podle polarit výstupního napětí U_2 a výstupního proudu I_2 .



Obrázek 15. Blokové schéma měniče

Energii do zátěže dodává měnič, když pracuje v kvadrantech 1 a 3. Je-li zátěží motor, tak je poháněn. Pasivní zátěže mohou pracovat pouze v těchto kvadrantech. Energii zpět do měniče dodává zátěž v kvadrantech 2 a 4. Jde-li o motor, probíhá brzdění.

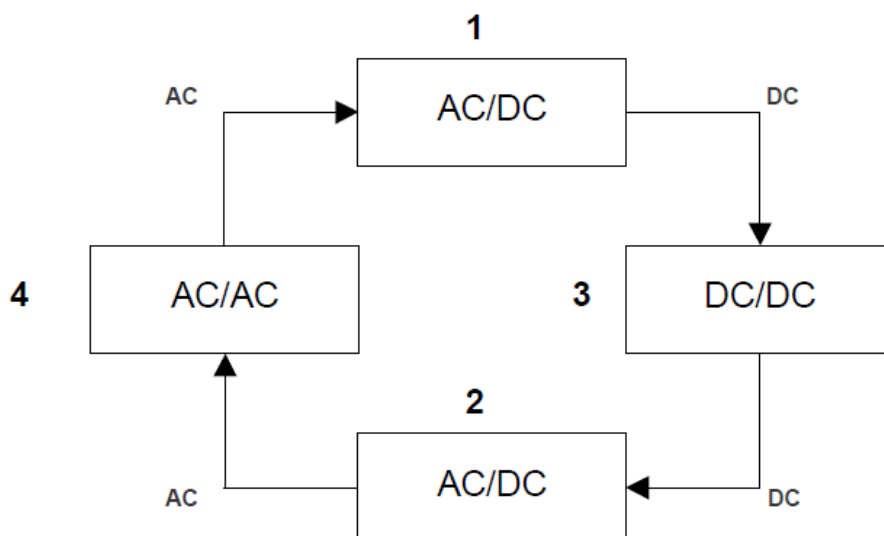


Obrázek 16. Pracovní kvadranty měničů

3.1.3 Rozdělení měničů

Měniče výkonové elektroniky zpravidla třídíme podle jejich funkce do čtyř dále uvedených základních skupin. Vzájemné vztahy mezi skupinami měničů vyjadřuje obr. 16.

1. Usměrňovače (rectifier), označované jako AC/DC měniče mění střídavé vstupní napětí a proud na výstupní stejnosměrné napětí a proud. Nejpoužívanější měniče výkonové elektroniky jsou právě usměrňovače.
2. Střídače (inverter), označované jako DC/AC měniče mění stejnosměrné vstupní napětí a proud na střídavé výstupní napětí, proud, kmitočet a počet fází. Na jejich výstup je připojen buď střídavý asynchronní nebo synchronní motor či síťový nízkofrekvenční transformátor. Obvykle pracují v režimu sinusové pulsní šířkové modulace s nosným kmitočtem od 1 do 40 kHz.
3. Stejnosměrné měniče (DC to DC) označované jako DC/DC měniče mění stejnosměrné vstupní napětí a proud na výstupní stejnosměrné napětí a proud jiné velikosti. Stejnosměrné měniče slouží jako napáječe jiných elektronických zařízení. Na výstup DC/DC měničů je zpravidla zapojen výstupní LC filtr ve tvaru dolní propusti (z důvodu vyhlazení výstupního napětí). Stejnosměrné měniče pracují v režimu pulsní šířkové modulace PWM (Pulse Width Modulation) s nosným kmitočtem od 2 do 600 kHz.
4. Střídavé měniče (AC to AC) označované AC/AC měniče cyklokonvertory. Střídavé měniče mění vstupní střídavé napětí, proud, počet fází a kmitočet na výstupní střídavou energii jiných parametrů. Obdobou střídavých měničů (AC/AC) tvoří tzv. nepřímé měniče se stejnosměrným meziobvodem napěťovým nebo proudovým, typu AC/DC/AC. Název vystihuje skutečnost, že mezilehlý obvod se nachází mezi pulzním DC/AC měničem a vstupním usměrňovačem AC/DC. Stejnosměrný meziobvod obsahuje filtrační člen, který od sebe impedančně odděluje oba dílčí měniče – AC/DC a DC/AC. Z funkčního hlediska se jedná o obvod typu AC/AC. Vstupní střídavé napětí je usměrněno a následně střídačem DC/AC transformováno opět na střídavé napětí jiných parametrů.



Obrázek 17. Vztahy mezi skupinami měničů

Dělení podle galvanické vazby

Bez galvanického oddělení

- Nábojová pumpa - topologie pro velmi nízké výkony (výhodou je konstrukce bez cívek - používá pouze kondenzátory)
- Snižovač napětí – označovaný jako step-down- nebo buck-converter
- Zvyšovač napětí - označovaný jako step-up- nebo boost-converter
- Buck-Boost - umožňuje zvyšování i snižování napětí, obrací polaritu napětí
- SEPIC - výstupní napětí může být vyšší nebo nižší než vstupní, polarita zůstává stejná

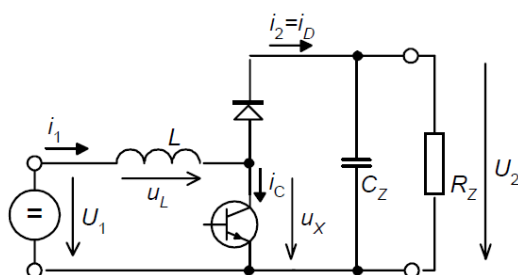
S galvanickým oddělením

- DC-DC měnič flyback – topologie pro nízké výkony (do 250W), malý počet součástek, používá transformátor se vzduchovou mezerou
- DC-DC měnič half-forward – vyšší výkon (do 500W), používá trafo bez vzduchové mezery s pomocným vinutím
- DC-DC měnič push-pull - pro výkony okolo 1 kW
- DC-DC měnič half bridge - pro výkony 100 až 500 W
- DC-DC měnič full bridge - pro výkony nad 300 W

3.1.4 Zvyšující neinvertující měnič (step-up)

Jedná se o zvyšující měnič, přesněji o variantu s dolním spínačem. Jeho další název je: boost converter. Tento měnič pracující v 1. kvadrantu a je ekvivalentní měnič snižujícímu (step-down) pracujícímu ve 2. kvadrantu s dolním spínačem, pouze zátěž a zdroj si vyměnily své role. Schéma zapojení a průběhy důležitých veličin jsou na obrázcích 17 a 18. Průběhy proudů jsou aproximovány šikmými přímkami, to znamená, že zanedbáme odpor ve smyčce tlumivky.

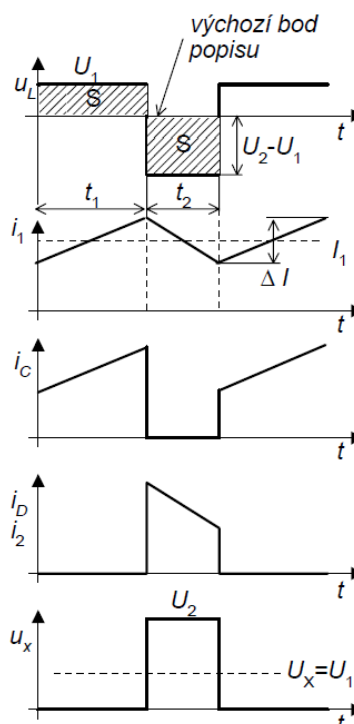
Poznámka: Má-li být výstupní napětí U_2 konstantní, je nutno použít filtrační sběrný kondenzátor C. Zátěž měniče tedy nemá induktivní charakter.



Obrázek 18. Principiální schéma zvyšujícího měniče.

Popis činnosti v režimu spojitých proudů:

1. Tranzistor T je vypnutý. V ustáleném stavu (po několika spínacích periodách) už teče tlumivkou L určitý proud ze zdroje U_1 přes D do zátěže U_2 . Dioda D je tedy otevřená. Na tlumivce L je proto napětí $u_L = U_1 - U_2$. Je záporné, protože $U_2 > U_1$. Proto proud tlumivkou lineárně klesá.
2. Sepneme-li tranzistor, objeví se na tlumivce kladné konstantní napětí $u_L = U_1$ a proud i_1 , tekoucí tlumivkou, začne lineárně narůstat. Uzavírá se přitom ze zdroje U_1 přes L a tranzistor. Dioda D je polarizována v závěrném směru a je uzavřena.
3. Vypnutím tranzistoru se dostáváme do výchozího stavu 1).



Obrázek 19. Průběhy napětí a proudu

Základní vlastnosti zvyšujících měničů

1. Výstupní proud měniče má impulsní charakter, způsobuje vř rušení, neexistuje však žádný kapacitní impulsní proud na rozdíl od měniče Čukova.
2. Napěťové namáhání polovodičů je teoreticky rovno výstupnímu napětí, což je mírná výhoda oproti měnič se společnou tlumivkou a Čukovu měnič.
3. Při konstantní střídě a úplném odlehčení měniče roste výstupní napětí nekontrolovatelně do nekonečna.
4. Měnič obsahuje jedinou tlumivku.

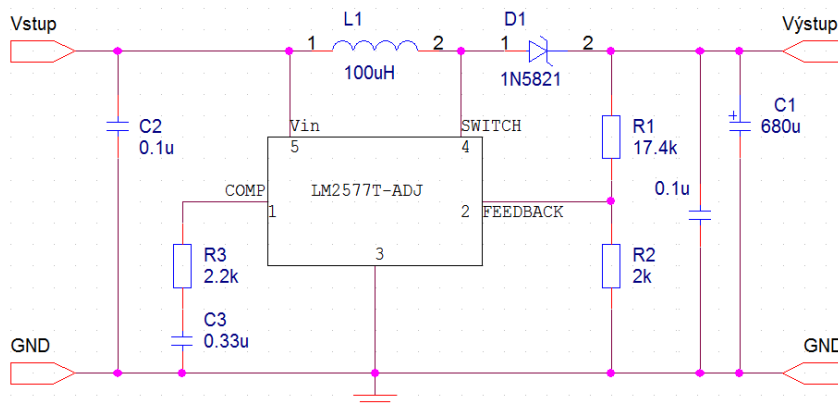
3.2 Návrh a popis vlastností přípravků pro měření DC/DC měniče

K realizaci přípravku, na kterém bude probíhat měření, jsem zvolil integrovaný obvod LM2577T-ADJ. Jedná se o integrovaný zvyšující (step-up) měnič, který potřebuje pro svou činnost jen minimum diskrétních součástek. Tento obvod má ještě několik důležitých vlastností, které jsou velmi výhodné pro účely měření ve školních laboratořích.

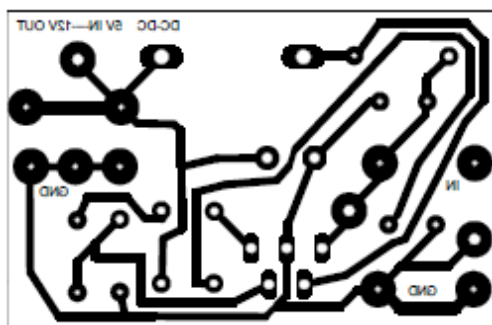
Základní vlastnosti:

1. Výstupní proud až 3A.
2. Široký rozsah vstupního napětí od 3,5V do 40V.
3. Obsahuje vnitřní oscilátor s frekvencí 52 kHz, který nepotřebuje externí součástky.
4. Obvod pro „soft start“ zabráňuje proudovému rázu při zapnutí.
5. Integrovaný obvod disponuje ochranou proti proudovému přetížení, vypnutím při nízkém napájecím napětí a vypnutím při přehřátí.

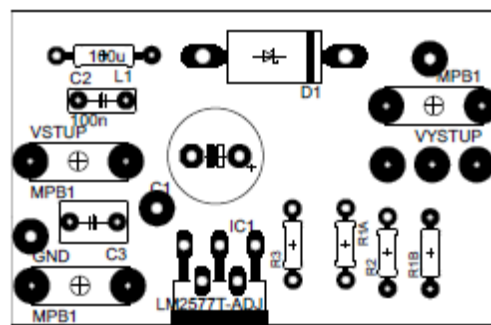
Obvodové schéma a hodnoty součástek byly použity podle typického zapojení uvedeného v datasheetu. Toto zapojení mění vstupní napětí 5V na výstupní napětí 12V, při maximální proudové zatížitelnosti 800mA.



Obrázek 20. Schéma DC/DC měniče



Obrázek 21. DPS měniče (mirrored)



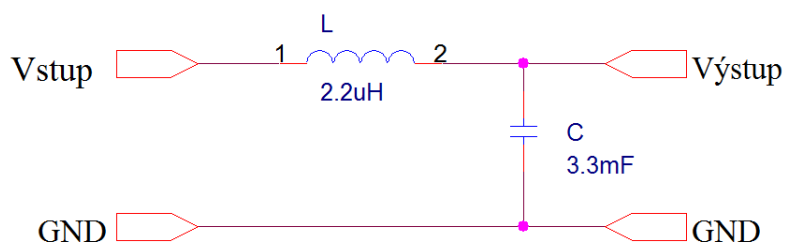
Obrázek 22. rozložení součástek měniče

3.2.1 Návrh a popis odrušovacího filtru

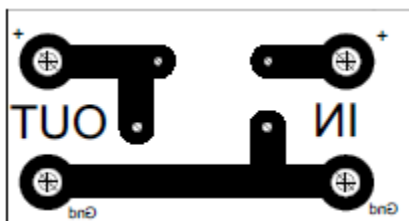
Při měření tohoto měniče bylo zjištěno vysokofrekvenční rušení výstupních veličin, toto rušení značně ztěžovalo měření. Rušení bylo způsobeno spínáním ve vnitřní struktuře obvodu LM 2577T-ADJ. Proto bylo nutné mezi výstupní svorky měniče a zátěž zařadit odrušovací filtr. Jedná se o LC filtr typu dolní propust. Přibližná hodnota mezního kmitočtu pro realizaci filtru byla zvolena 2 kHz. Pomocí tabulek a vzorců použitých v programu excel byla zvolena tato kombinace hodnot součástek C=3,3mF a L=2,2uH.

Výpočet mezní frekvence:

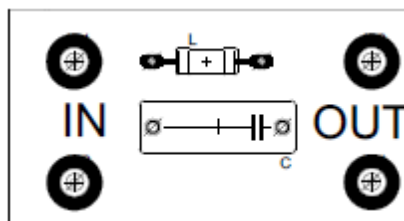
$$f_m = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,0000022 \cdot 0,0033}} = 1868,11\text{Hz} \quad (3.1)$$



Obrázek 23. Schéma odrušovacího filtru



Obrázek 24. DPS filtru (mirrored)



Obrázek 25. Strana součástek filtru

4. Závěr

V mé bakalářské práci jsem měl za úkol modernizovat měření z předmětu principy zařízení komerční elektroniky. Modernizaci jsem provedl pro dvě měřicí úlohy, a to pro měření elektronických filtrů a DC/DC měničů. Modernizace spočívaly v návrhu přípravků, na nichž bude měřeno, výrobě těchto přípravků, vytvoření postupů pro měření a vypracování vzorových protokolů. Proto je rozsah základní teorie k tématům kmitočtových filtrů a měničů napětí spíše stručný a zaměřil jsem se pouze na konkrétní typ měniče a filtru. Schémata jsem kreslil v programu ORCAD a pro tvorbu DPS jsem použil program EAGLE.

Pro měření elektronických filtrů jsem navrhnul (vypočítal, vytvořil schéma a DPS) a následně sestavil pásmovou propust 6. řádu (3 kapacitně vázané obvody 2. řádu) s kapacitně vázanými obvody. Propust je navržena pomocí koeficientů butterworthovy aproximace. Mezní kmitočet pro návrh byl zvolen 100 kHz, při měření byla tato hodnota 99,7 kHz (při této frekvenci vykazoval obvod nejmenší útlum a fázový posun 180°). Pro měření na tomto přípravku jsem navrhnul také syntetické indukčnosti, které mohou nahradit cívky použité ve vázaných obvodech. Volba mezi použitím cívek a syntetických indukčností je provedena pomocí přepínačů. Původním záměrem bylo měřením ověřit vlastnosti této pásmové propusti při použití cívek a při použití syntetických indukčností. Bohužel i přes dobré výsledky při simulaci se nepodařilo, ani po nahrazení OZ LM324 obvodem s rychlou dobou přeběhu LM318, změřit vlastnosti pásmové propusti s použitím syntetických indukčností. Proto jsem se při měření, vypracování postupu a protokolu omezil pouze na použití klasických cívek. Vstup i výstup propusti jsem impedančně přizpůsobil na 50Ω a pro připojení vstupního a výstupního signálu jsem použil BNC konektory a také vývody typu FASTON (připojení sond osciloskopu apod.). Měřením jsem zjistil, že hodnota útlumu v propustné oblasti je značná (35dB) a liší se od výsledku simulace. Tato odlišnost je způsobena použitím ideálních prvků při simulaci. Skutečné prvky se svými vlastnostmi výrazně liší od ideálních a to především činitelem jakosti cívek, sériovým odporem cívek, jakostí kondenzátorů a také výrobní tolerancí hodnot součástek. Hodnota útlumu v propustné oblasti by se dala snížit použitím širokopásmového zesilovače, který by byl připojen k výstupu propusti.

Pro realizaci DC/DC měniče jsem použil integrovaný obvod LM2577T-ADJ, který je zapojen jako beztransformátorový zvyšující (step up) měnič napětí. Tento IO jsem použil z důvodu jeho dostupnosti, jednoduchosti zapojení a výhodných vlastností z hlediska měření v laboratořích (disponuje ochranou proti proudovému přetížení, vypnutím při nízkém napájecím napětí a vypnutím při přehřátí). Při návrhu tohoto měniče jsem vycházel ze schématu zapojení, které uvádí výrobce v datasheetu. Toto zapojení mění vstupní napětí 5V na výstupní napětí 12V při výstupním proudu až 800mA. Měřením jsem ověřil funkčnost výrobku a zjistil další parametry. Účinnost tohoto měniče je 70 až 80 % v rozsahu napájecího napětí 5 až 12V. Proudová zatížitelnost udaná výrobcem neodpovídala skutečnosti. Při výstupním proudu 250mA bylo výstupní napětí jen 8V (měřeno při vstupním napětí 5V). Pro měření zvlnění vstupních a výstupních veličin pomocí osciloskopu bylo nutné navrhnout filtr, který odstraní vf rušení. K odrušení jsem použil dolní propust typu LC s mezním kmitočtem 1,8 kHz. Měřením jsem prokázal, že se zatížením měniče roste zvlnění výstupního napětí a proudu. Pokud měnič pracuje naprázdno, nedochází k nárůstu napětí a na výstupu zůstává napětí 12V.

Literatura

- [1] BELZA, Jaroslav . ZAPOJENÍ S OPERAČNÍMI ZESILOVAČI. *KONSTRUKČNÍ ELEKTRONIKA A RADIO*. 1996, 1., 3, s. 83-120. Dostupný také z WWW: <ivanskemasakr.ic.cz/elweb/b396.pdf>. ISSN 1211-3557.
- [2] HÁJEK, Karel; SEDLÁČEK, Jiří. *Kmitočtové filtry* . 1. Praha : BEN - technická literatura, 2002. 536 s. ISBN 80-7300-023-7
- [3] *GM electronic : Katalogové listy* [online]. 2011 [cit. 2011-05-05]. Wwv.gme.cz. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz/dokumenty/>>.
- [4] KREJČÍŘÍK, Alexandr . *DC/DC měniče*. 1. Praha : BEN - technická literatura, 2001. 109 s. ISBN 80-7300-045-8.
- [5] MACH, Ladislav. *APLIKACE SI, SUPERINDUKTORŮ A FDNR V KMITOČTOVÝCH FILTRECH*. BRNO, 2008. 57 s. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Dostupné z WWW: <www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=9464>.
- [6] *Elweb.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-05-05]. Možnosti měření fázového posunu dvou harmonických signálů . Dostupné z WWW: <<http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=116>>.
- [7] M%C4%9Bni%C4%8D nap%C4%9Bt%C3%AD. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9Bni%C4%8D_nap%C4%9Bt%C3%AD>.
- [8] NOVOTNÝ, Vlastislav ; VOREL, Pavel ; PATOČKA, Miroslav . *502* [online]. 2009 [cit. 2011-05-05]. Zlab.502.cz. Dostupné z WWW: <<http://zlab.502.cz/zlab/maturita/EN/Zdroje%20elektricke%20energie.pdf>>.

5. Seznam příloh

1. Měření DC/DC měniče

2. Měření pásmové propusti

3. Fotografie přípravků